

# Ricerca

## Piattaforma WebGIS per la valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico degli edifici nella città di Nablus (Palestina)

### WebGIS platform for vulnerability assessment and seismic risk of buildings in the city of Nablus (Palestine)

Antonella Di Meo<sup>1</sup>, Marta Faravelli<sup>2</sup>, Barbara Borzi<sup>3</sup>, Marco C. Pagano<sup>4</sup>, Diego Polli<sup>5</sup> ■

#### Sommario

L'articolo descrive la piattaforma web con funzionalità GIS (WebGIS) sviluppata da Eucentre nell'ambito del progetto "ECHO/SUB/2014/694399 SASPARM2.0 Support Action for Strengthening Palestine capabilities for seismic Risk Mitigation", cofinanziato da DG-ECHO – Humanitarian Aid and Civil Protection, iniziato a gennaio 2015 e terminato a dicembre 2016. Il WebGIS realizzato è accessibile a cittadini, studenti, professionisti, autorità governative e non governative, e rappresenta uno strumento molto utile ed intuitivo per caricare e gestire i dati relativi agli edifici residenziali nella città di Nablus, in Palestina. I rilievi sono condotti utilizzando due schede organizzate in funzione delle tipologie strutturali presenti nella città di Nablus. Le schede sono rivolte ai cittadini e ai professionisti e sono diverse tra loro solo in termini di dettaglio. In funzione dei dati rilevati, vengono automaticamente associate a ciascun edificio le curve di fragilità elaborate per cinque diversi livelli di danno, fornendo così una valutazione della vulnerabilità strutturale dell'edificio. Le curve di fragilità sono calcolate utilizzando il metodo meccanico SP-BELA (Simplified Pushover-Based Earthquake Loss Assessment) e sono associate a ciascun edificio in funzione della tipologia strutturale e del numero di piani. Oltre alle curve di fragilità, la piattaforma WebGIS mostra la curva di pericolosità e il rischio sismico dell'edificio calcolato per 3 finestre temporali stabilite (1, 10 e 50 anni). Infine, il WebGIS permette di individuare una serie di interventi di retrofit che favoriscono la riduzione della vulnerabilità sismica di ciascun edificio (e di conseguenza del rischio sismico). Tali interventi sono proposti in funzione della tipologia di edificio e degli elementi che determinano la sua vulnerabilità individuati in fase di rilievo.

**Parole chiave:** schede di rilievo, curve di fragilità, rischio sismico, piattaforma WebGIS.

#### Abstract

*The article is about the web with GIS functionality (WebGIS) realized by Eucentre for SASPARM2.0 (Support Action for Strengthening Palestine capabilities for seismic Risk Mitigation) project. The WebGIS is accessible to citizens, students, practitioners, GO and NGO stakeholders, and it represents a very useful and intuitive tool to load and manage data collected during the survey of residential buildings. From the collected data, fragility curves are obtained to estimate the seismic vulnerability of buildings. The fragility curves are determined with SP-BELA (Simplified Pushover-Based Earthquake Loss Assessment) method for five different damage levels and they are associated to each building according to its structural type and its number of stories. Besides the fragility curves, the hazard curve and the seismic risk are calculated and made available on the platform. Finally, possible retrofits are suggested to reduce the vulnerability and in consequence the seismic risk of the selected building.*

**Keywords:** survey forms, fragility curves, seismic risk, WebGIS platform.

<sup>1</sup> Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ [antonela.dimeo@eucentre.it](mailto:antonela.dimeo@eucentre.it)

<sup>2</sup> Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ [marta.faravelli@eucentre.it](mailto:marta.faravelli@eucentre.it)

<sup>3</sup> Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ [barbara.borzi@eucentre.it](mailto:barbara.borzi@eucentre.it)

<sup>4</sup> Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ [marco.pagano@eucentre.it](mailto:marco.pagano@eucentre.it)

<sup>5</sup> Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ [diego.polli@eucentre.it](mailto:diego.polli@eucentre.it)

## 1. Introduzione

Le attività svolte nell'ambito del progetto precedente, denominato SASPARM (Support Action for Strengthening Palestinian-administrated Areas capabilities for seismic Risk Mitigation) e terminato a dicembre 2014, hanno contribuito alla diffusione del concetto di rischio sismico in Palestina. Il rischio sismico è dato dalla combinazione di tre fattori:

- pericolosità, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un certo intervallo di tempo;
- esposizione, che indica l'importanza dell'oggetto esposto al rischio (ad es. numero di persone presenti all'interno di un edificio o se l'edificio assume una certa rilevanza da un punto di vista storico e/o economico);
- vulnerabilità, che indica il livello di danneggiamento che la struttura può manifestare se sottoposta ad un sisma di un certo livello di intensità.

Al fine della riduzione del rischio sismico, l'unico elemento sul quale è possibile agire è la vulnerabilità. In Palestina, tale consapevolezza ha portato all'introduzione di un nuovo codice di progettazione al termine del progetto SASPARM, finanziato a ottobre 2011 all'interno di un framework FP7, e ha messo in luce l'esigenza di fare una valutazione sulla vulnerabilità sismica degli edifici presenti sul territorio. In SASPARM2.0 si pongono le basi di tale attività attraverso la definizione di una metodologia per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici presenti nella città di Nablus, considerata come caso studio.

La metodologia proposta prevede i seguenti step:

- individuazione delle tipologie strutturali più diffuse sul territorio;
- produzione di curve di fragilità per le tipologie individuate;
- creazione di schede di raccolta dati;
- sviluppo di un criterio per correlare ogni scheda ad un set di curve di fragilità tra quelle prodotte in funzione dei dati raccolti nella scheda.

Sono state realizzate due diverse schede per la raccolta dei dati: una per i cittadini e l'altra, più dettagliata, per i professionisti (ingegneri ed architetti). Le schede di rilievo possono essere usate sia in formato cartaceo che digitale (attraverso un'applicazione creata ad hoc per sistemi Android) e permettono di identificare le caratteristiche geometriche e strutturali degli edifici rilevati. Sulla base di questi dati vengono associate ad ogni edificio le curve di fragilità, elaborate per tipologia strutturale e per cinque livelli di danno.

Le informazioni raccolte mediante le schede di rilievo possono essere caricate e gestite da tutti gli utenti (studenti/cittadini/professionisti/autorità governative e non governative) all'interno di un portale WebGIS, che è il principale prodotto del progetto SASPARM2.0. Il WebGIS raccoglie tutte le schede di rilievo compilate e permette, una volta selezionato l'edificio di interesse, di visualizzare la corrispondente scheda di rilievo, oltre alla curva di pericolosità e alle curve di fragilità per livelli di danno. La piattaforma mostra, inoltre, il rischio sismico calcolato e una serie di interventi di retrofit suggeriti per la riduzione della vulnerabilità strutturale.

Nei paragrafi seguenti si illustra il WebGIS in ogni sua parte e le tipologie strutturali maggiormente diffuse nella città di Nablus oltre che il metodo meccanico utilizzato per la determinazione delle curve di fragilità degli edifici.

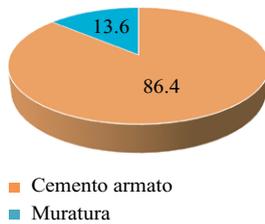
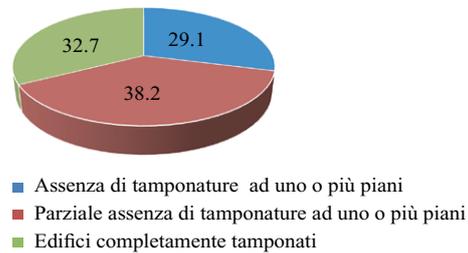
## 2. Tipologie strutturali della città di Nablus

La città di Nablus è stata presa come punto di partenza e città di riferimento per l'identificazione delle tipologie strutturali più diffuse sul territorio palestinese. Sono state individuate le seguenti tre categorie:

- strutture a telaio in cemento armato;
- strutture a setti in cemento armato;
- strutture in muratura.

La tipologia strutturale maggiormente utilizzata per gli edifici residenziali è quella a telaio in cemento armato. Questi edifici presentano generalmente due o tre campate in entrambe le direzioni e possono raggiungere anche i 15 piani. Hanno tamponature interne di circa 10 cm in spessore composte da blocchi in calcestruzzo. Gli stessi blocchi sono utilizzati per la realizzazione delle tamponature esterne che possono essere ad uno o tre strati, rispettivamente di 15-20 cm e 30 cm circa di spessore. Nel caso di tamponamento a tre strati, quello centrale è in calcestruzzo e presenta uno spessore di circa 13 cm. Pratica diffusa fino ad oggi è quella di realizzare edifici privi di tamponamenti esterni ad uno o più piani (anche solo parzialmente). Conseguenza di tale pratica costruttiva è il manifestarsi di meccanismi di collasso di piano debole in caso di sisma di media o alta intensità. Per ciò che concerne le strutture orizzontali, gli edifici a telaio in cemento armato possono presentare solai realizzati con blocchi alleggeriti di calcestruzzo e travetti in cemento armato (in una o in entrambe le direzioni) o da una soletta in calcestruzzo sorretta da travi in acciaio a vista.

Oltre agli edifici a telaio in cemento armato, negli ultimi anni si stanno diffondendo anche gli edifici a setti in cemento armato composti da 3 a 5 campate, in entrambe le direzioni, e un numero di piani che va da 5 a 10.

**Tipologie di Struttura Verticale degli Edifici****Edifici in Cemento Armato**

**Figura 1**  
Distribuzione delle tipologie strutturali in Nablus su un totale di edifici presenti attualmente nel WebGIS (sinistra), distribuzione di edifici a telaio in cemento armato con o senza tamponature a uno o più piani (destra).

Di vecchia costruzione, invece, sono gli edifici in muratura. Si differenziano dagli altri essendo più bassi e regolari, soprattutto in pianta. Hanno, infatti, un numero massimo di piani che in genere non supera i 3 e un numero di campate pari a 1 o 2 in entrambe le direzioni. Possono essere realizzati secondo due diverse modalità costruttive. Nella prima, le pareti portanti hanno uno strato interno in calcestruzzo e quello esterno in muratura, per uno spessore complessivo di circa 30-35 cm. La seconda modalità, invece, dà origine a pareti più spesse (dell'ordine di 40-50 cm) e prevede la realizzazione di tre strati: i due esterni in muratura e quello centrale in calcestruzzo. Negli ultimi anni, i blocchi di pietra usati per uno dei due strati in muratura (generalmente quello interno) sono stati sostituiti con quelli in calcestruzzo. I solai degli edifici in muratura possono essere realizzati in lastre di calcestruzzo di 30-35 cm in spessore o in lastre in cemento armato dell'ordine di 15 cm supportate da travi snelle in acciaio poste ad un interasse non maggiore di 1 m.

Sulla base dei dati raccolti finora dai professionisti e caricati nella piattaforma WebGIS, è stato possibile stimare la distribuzione delle sopra citate tipologie strutturali presenti nella città di Nablus. In particolare, in Figura 1 si riporta la percentuale di edifici in muratura e in cemento armato (sinistra); di questi ultimi si propone un'ulteriore classificazione in funzione della presenza o assenza delle tamponature a uno o più piani per gli edifici a telaio (destra).

### 3. Metodo SP-BELA

La vulnerabilità degli edifici rilevati nella città di Nablus è stata definita attraverso l'utilizzo di curve di fragilità ricavate con il metodo meccanico SP-BELA (Simplified Pushover-Based Earthquake Loss Assessment). Il metodo si basa sul confronto tra capacità strutturale e domanda in termini di spostamento, per ciascuno stato limite di danno considerato, e può essere applicato alle strutture a telaio in cemento armato (Borzi et al., 2008a), in muratura (Borzi et al., 2008) e in prefabbricato (Bolognini et al., 2008). Per ottenere curve di fragilità rappresentative, si genera un campione di edifici a partire da un edificio prototipo, ottenuto sulla base delle caratteristiche riscontrate per ciascuna tipologia strutturale.

Gli edifici costituenti ciascun campione vengono generati con il metodo Monte Carlo variando alcuni parametri strutturali, quali la geometria degli elementi strutturali, i carichi applicati, la resistenza e la capacità di deformazione dei materiali. Ad ogni parametro viene associata una distribuzione a scelta tra: (i) distribuzione normale, (ii) distribuzione log-normale, (iii) distribuzione uniforme, (iv) selezione casuale tra un insieme di valori, e (v) valore costante.

Una volta determinato il campione rappresentativo, SP-BELA svolge la progettazione simulata di ciascun edificio appartenente al campione. La progettazione simulata viene utilizzata in modo da ridurre il numero delle variabili aleatorie che descrivono il campione degli edifici, in quanto le dimensioni degli elementi strutturali e le loro armature non sono vere e proprie variabili aleatorie, ma vengono definite simulando la fase di progettazione dell'edificio utilizzando le normative in uso al tempo della reale progettazione dello stesso. Successivamente, su ogni edificio viene svolta un'analisi statica non lineare il cui prodotto finale è la curva pushover. A partire dalla curva pushover, è possibile definire le proprietà di un sistema ad un grado di libertà (SDOF), equivalente al sistema a più gradi di libertà (MDOF) originale in termini di periodo di vibrazione, spostamento e capacità di dissipazione. Quest'ultimo viene preso in considerazione per mezzo di un fattore di smorzamento equivalente che può essere definito in funzione della duttilità. La capacità di spostamento così ottenuta viene confrontata con la domanda di spostamento imposta dal terremoto che corrisponde all'ordinata, nel periodo di vibrazione dell'edificio, dello spettro di spostamento smorzato secondo le capacità dissipative calcolate mediante l'analisi pushover. Confrontando la domanda di spostamento con la capacità, è possibile quindi definire la percentuale di edifici appartenente al campione che sopravvive alle condizioni limite considerate. Variando l'accelerazione che ancora sull'asse delle ascisse la curva di fragilità alla curva spettrale utilizzata, si definiscono tutti i punti della curva di fragilità per ogni stato limite. La distribuzione cumulata di probabilità che meglio interpola tutti i punti del suddetto confronto è la distribuzione cumulata log-normale. Sebbene SP-BELA si basi sulla simulazione del comportamento meccanico di un edificio e quindi possa, in linea di principio, simulare svariate tipologie strutturali, attualmente non è in grado di esaminare gli effetti dovuti al comportamento torsionale e al meccanismo di collasso locale che non sono tenuti in conto nella modellazione semplificata degli edifici. Questa limitazione può essere però superata

applicando dei coefficienti di correzione/taratura ai risultati ottenuti con SP-BELA, che si calibrano utilizzando studi parametrici basati su analisi dinamiche non lineari (Grigotatos et al., 2016).

#### 4. Descrizione della piattaforma WebGIS e dei suoi componenti

Il risultato finale del progetto SASPARM2.0 è una piattaforma WebGIS contenente i dati strutturali degli edifici rilevati nella città di Nablus. Come anticipato nell'introduzione, la piattaforma è accessibile a tutti gli utenti, siano essi cittadini, studenti, professionisti (ingegneri o architetti) e autorità governative/non governative, e permette l'utilizzo e la gestione dei dati per la definizione della vulnerabilità e del rischio sismico del singolo edificio selezionato. In situ i dati possono essere compilati mediante schede cartacee o attraverso APP per Smartphone e Tablet (con sistema operativo Android) ideate allo scopo. Le APP rispecchiano completamente le schede di rilievo di tipo cartaceo e inviano direttamente i dati alla piattaforma WebGIS, una volta terminato il rilevamento. L'insieme delle schede di rilievo compilate è visibile nella pagina iniziale del WebGIS, nel tab *Map*. Il marker che indica la presenza di una scheda può avere due diversi colori, verde o blu, a seconda che il rilevamento sia stato effettuato da un professionista o da un cittadino. La pagina iniziale del WebGIS è mostrata in Figura 2.

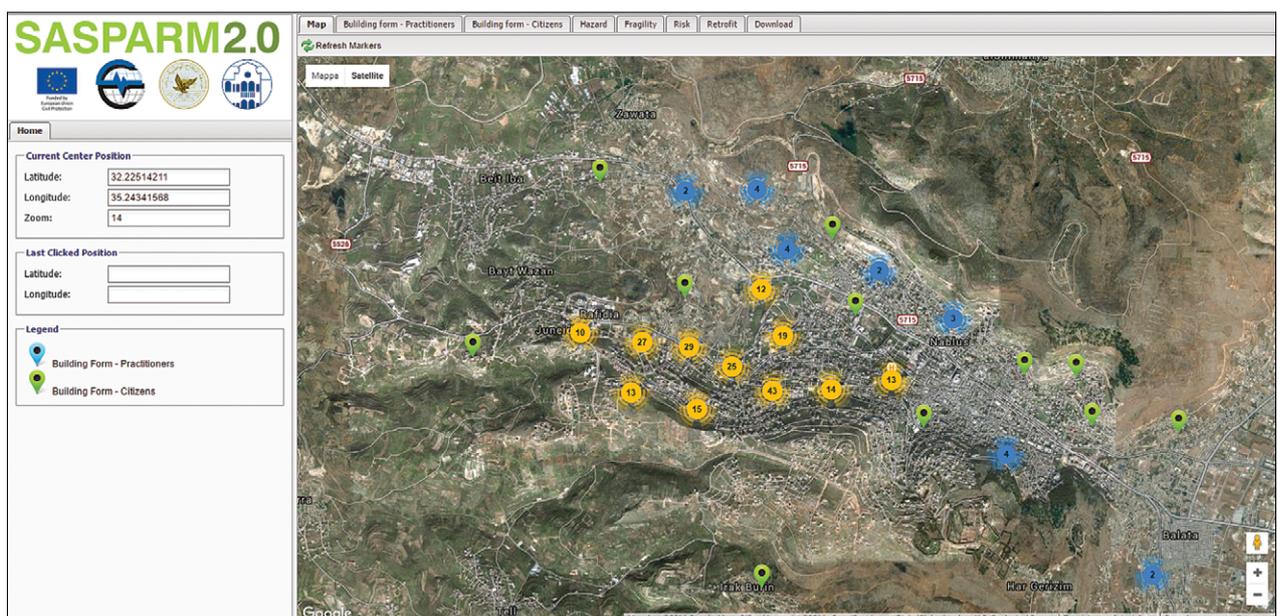
##### 4.1 Schede di rilievo

La vulnerabilità degli edifici presenti nella città di Nablus è calcolata utilizzando le curve di fragilità descritte nel Capitolo 3. Tali curve vengono associate agli edifici rilevati grazie ai dati inseriti nelle schede di rilievo compilate dai professionisti e dai cittadini. Cliccando sul marker relativo alla scheda di rilievo associata all'edificio di interesse, in funzione del rilevatore, si andrà ad attivare il tab *Building form - Practitioners* o *Building form - Citizens*, contenente i dati del rilevamento. Di seguito si descrivono le diverse sezioni che costituiscono le schede di rilievo a cui si associano le corrispondenti finestre di dialogo grafico del WebGIS.

##### 4.1.1 Scheda cittadini: *Building form - Citizens*

Il tab *Building form - Citizens* rispecchia il modello cartaceo della scheda di rilievo utilizzata dai cittadini, scaricabile in formato pdf premendo sul pulsante *Help*. Attraverso il bottone *New Form* all'interno del WebGIS si genera una scheda vuota in cui poter inserire i dati. Una volta aperta, la pagina può essere cancellata o chiusa attraverso i pulsanti *Delete Form* e *Close Form*. La scheda inizia con una sezione dedicata alle informazioni sul compilatore, come nome e livello di istruzione (Education level/Faculty/Department), così come mostrato in Figura 3. Seguono quattro differenti sezioni, ovvero *Identification of the Building*, *Description of the Building*, *Structural Data*, *Notes* e *Photos*, in cui il compilatore definisce le caratteristiche geometriche e strutturali dell'edificio.

**Figura 2**  
Tab Map - Schermata iniziale del WebGIS.



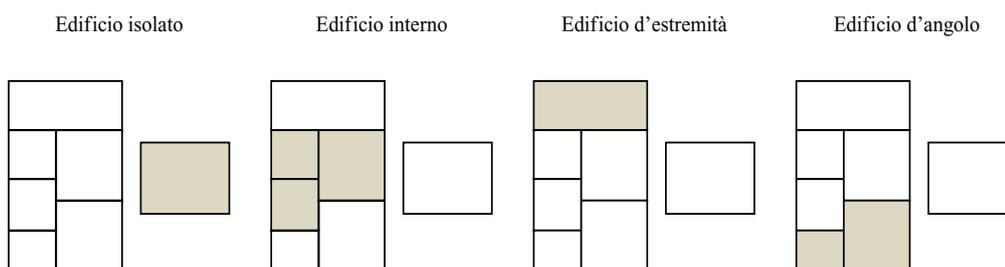
**Figura 3**  
Parte iniziale della scheda cittadino.

Nella sezione *Identification of the Building* il cittadino inserisce i dati necessari a localizzare l'edificio, comprese le coordinate geografiche espresse secondo il sistema WGS84 in gradi decimali e rilevate in corrispondenza dell'ingresso della struttura. Poiché strettamente correlata alla risposta sismica dell'edificio, è richiesta la definizione della posizione dell'edificio, ovvero se esso è isolato, interno, d'estremità o d'angolo, così come indicato in Figura 4. La Figura 5 mostra la sezione in oggetto.

Nella sezione *Description of the Building* va indicato il numero di piani dell'edificio, dal piano di fondazione a quello di copertura. Quest'ultimo è incluso solo se praticabile. È da specificare anche il numero dei piani interrati, se presenti. Per avere un'idea sulle modalità di costruzione e sul comportamento sismico dell'edificio, al compilatore si chiede di indicare l'anno di costruzione e quello in cui l'edificio ha subito eventuali interventi strutturali. Il periodo temporale preso come riferimento è diviso in intervalli e va da < 1919 a 2002. Infine, bisogna specificare l'utilizzo della struttura, anche in termini di percentuale d'uso, e il numero di persone che la occupano. La sezione *Description of the Building* è riportata in Figura 6.

Insieme al numero dei piani e alla destinazione d'uso dell'edificio, per il calcolo della vulnerabilità è importante specificare la tipologia strutturale. Questa va definita in *Structural Data* in Figura 7, in cui la scelta è tra muratura e cemento armato, essendo questi i materiali prevalentemente utilizzati per la realizzazione delle strutture portanti verticali degli edifici palestinesi. Se gli edifici sono in cemento armato, si deve specificare l'assenza totale o parziale di tamponature, insieme ai piani corrispondenti. L'assenza di tamponature, infatti, favorisce il meccanismo di piano debole in caso di sisma di media o alta intensità, rendendo l'edificio estremamente vulnerabile.

La pagina *Building Form - Citizens* termina con i campi *Notes* e *Photos* (Figura 8) in cui il compilatore può inserire appunti e/o informazioni non identificabili nella scheda preimpostata oltre che allegare le foto dell'edificio di riferimento. Come si evince da Figura 8, le foto possono essere caricate e cancellate attraverso i pulsanti *Upload Photo* e *Delete Photo*.



**Figura 4**  
Descrizione delle posizioni possibili di edificio.

**Figura 5**  
Sezione 1 – Identificazione dell'edificio (in basso).

**Figura 6**  
Sezione 2 - Descrizione dell'edificio.

**2. Description of the Building**

**Metrics**

N° Total floors with basement:  N° Basements:

Construction Year:  Renovation Year:

**Type of Use**

Insert the number of units for each type of use

Housing:	<input type="text"/>	% of Use:	<input type="text"/>
Productive:	<input type="text"/>	Property:	<input type="text"/>
Trade:	<input type="text"/>	Occupants:	<input type="text"/>
Offices:	<input type="text"/>		
Public Service:	<input type="text"/>		
Deposit:	<input type="text"/>		
Touristic-Accommodation:	<input type="text"/>		

**Figura 7**  
Sezione 3 - Dati strutturali.

**3. Structural Data**

Vertical Structure of the Building:  Masonry  Reinforced Concrete

**Reinforced Concrete Properties**

B.1 The building has no wall at Floors:				B.2 The building has partially walls at Floors:			
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 8
<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 10	<input type="checkbox"/> 11	<input type="checkbox"/> >= 12	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 10	<input type="checkbox"/> 11	<input type="checkbox"/> >= 12

B.3 The building is composed totally by walls

**Figura 8**  
Sezione 4 e 5 - Note e Foto.

**4. Notes**

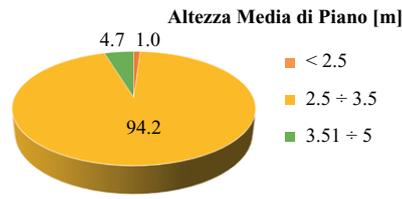
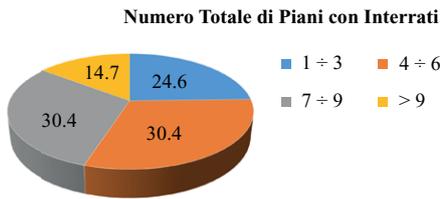
**5. Photos**

ID	FileName	Type	Size

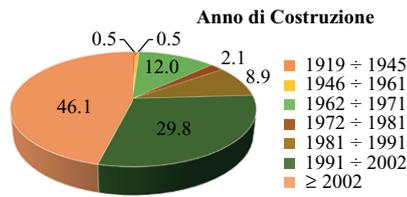
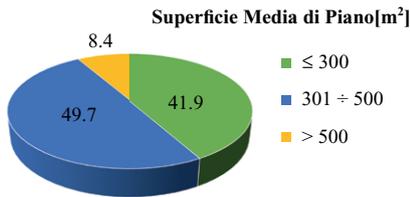
#### 4.1.2 Scheda Professionisti: Building form - Practitioners

Il tab *Building form – Practitioners* è utilizzato dai professionisti per inserire i dati di rilievo degli edifici. Il tab ricalca la corrispondente scheda in formato cartaceo, il cui livello di dettaglio è maggiore rispetto a quello della scheda dei cittadini. La prima differenza si riscontra nella sezione *Description of the building* in cui, oltre alle informazioni richieste ai cittadini già descritte in precedenza, si chiede di indicare l'altezza e la superficie di piano, ottenute entrambe come media delle altezze e delle superfici di tutti i piani dell'edificio rilevato. In Figura 9 si mostrano le distribuzioni ricavate in base ai dati della sezione *Description of the building* dei 191 edifici rilevati dai professionisti presenti attualmente nel WebGIS. In Figura 10, invece, si riporta la struttura della Sezione 2 - *Description of the building*.

In *Structural data*, alle differenti tipologie di struttura verticale già presenti nella scheda dei cittadini, si aggiunge quella degli edifici a setti in cemento armato. Questa ulteriore classificazione risulta rilevante in quanto gli edifici a setto in cemento armato manifestano un comportamento sismico, e quindi un livello di vulnerabilità, diverso da quello degli edifici a telaio. *Structural data* si compone anche di una sezione aggiuntiva, ovvero *Horizontal Structure and Roof*. Tale sezione contiene l'elenco delle strutture orizzontali, sia di interpiano che di copertura, maggiormente utilizzate negli edifici residenziali palestinesi (Figura 11). *Horizontal Structure and Roof* si compone anche di uno spazio dedicato all'eventuale presenza di strutture a



**Figura 9**  
Distribuzioni di edifici in base al numero di piani, altezza media di piano, superficie media di piano e anno di costruzione.



**2. Description of the Building**

**Metrics**

N° Total floors with basement:

N° Basements:

Average of floor height [m]:

Average of floor area [m<sup>2</sup>]:

Construction Year:

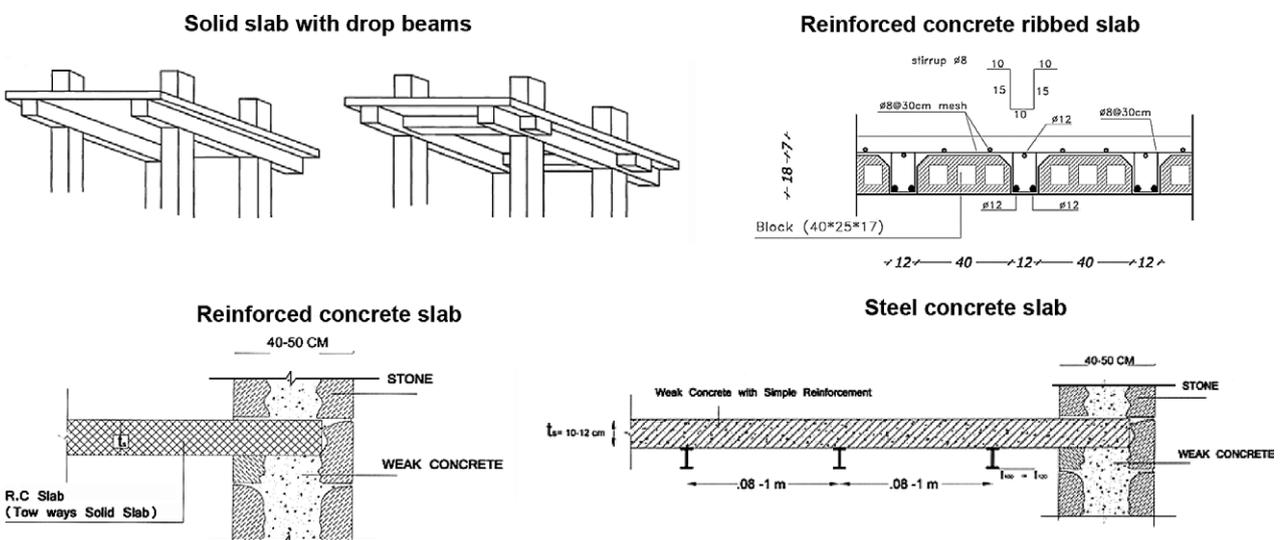
Renovation Year:

**Type of Use**

Insert the number of units for each type of use

Housing: <input type="text"/>	% of Use: <input type="text"/>
Productive: <input type="text"/>	Property: <input type="text"/>
Trade: <input type="text"/>	Occupants: <input type="text"/>
Offices: <input type="text"/>	
Public Service: <input type="text"/>	
Deposit: <input type="text"/>	
Touristic-Accommodation: <input type="text"/>	

**Figura 10**  
Sezione 2 – Descrizione dell'edificio.



**Figura 11**  
Esempi di strutture orizzontali (in basso).

**Figura 12**  
Sezione 3 - Dati strutturali.

**3. Structural Data**

Vertical Structure of the Building:  Masonry  Reinforced Concrete

**Reinforced Concrete Properties**

B.1 The building has no wall at Floors:				B.2 The building has partially walls at Floors:			
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 8
<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 10	<input type="checkbox"/> 11	<input type="checkbox"/> >= 12	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 10	<input type="checkbox"/> 11	<input type="checkbox"/> >= 12

B.3 The building is composed totally by walls  B.4 The building has RC shear walls

**Horizontal Structure and Roof**

Horizontal Structure	Roof
<input checked="" type="radio"/> Not Identified	<input type="radio"/> Heavy and flat
<input type="checkbox"/> Solid slab with drop beams	<input type="radio"/> Heavy and sloped
<input type="checkbox"/> Reinforced concrete ribbed slab	<input type="radio"/> Light and flat
<input type="checkbox"/> Reinforced concrete slab	<input type="radio"/> Light and sloped
<input type="checkbox"/> Steel concrete slab	
<input type="checkbox"/> Cantilever structures	

mensole (ad esempio, i balconi), essendo esse causa di un aumento del livello di vulnerabilità dell'edificio indagato. In Figura 12 è mostrata la struttura della Sezione 3 - *Structural data*.

Al contrario di quanto avviene nelle schede per i cittadini, i professionisti devono compilare anche le sezioni *Regularity* e *Geomorphological Data*. Queste ultime riguardano rispettivamente la regolarità dell'edificio (sia in pianta che in elevazione), la morfologia del sito e la categoria del suolo di fondazione su cui è ubicato l'edificio. In entrambi i casi, i criteri di riferimento sono quelli stabiliti dall'Eurocodice 8 (CEN, 2004). In Figura 13 si mostra la struttura delle sezioni *Regularity* e *Geomorphological Data* mentre Figura 14 riporta le distribuzioni sulla regolarità in pianta e in altezza ricavate in base agli edifici rilevati dai professionisti e presenti attualmente nel WebGIS. Così come avviene per la scheda dedicata ai cittadini, anche la scheda di rilievo dei professionisti si chiude con le sezioni *Notes* e *Photos*.

**Figura 13**  
Sezione 4/5 - Regolarità e dati geomorfologici.

**4. Regularity**

In plan:  Regular  Not Regular

In elevation:  Regular  Not Regular

**5. Geomorphological Data**

Morphology site:  Ridge  Strong slope  Slight slope  Lowland

Landslides:  Absent  Existing

Category of soil foundation:

**Figura 14**  
Regolarità in pianta ed in elevazione degli edifici rilevati dai professionisti e presenti attualmente nel WebGIS.



#### 4.2 Curva di pericolosità: Hazard

Nel tab *Hazard* viene mostrata la curva di pericolosità associata all'edificio selezionato. La curva di pericolosità mette in relazione la severità di scuotimento, in questo caso l'accelerazione di picco  $a_g$ , alla AFE (Annual Frequency of Exceedance) data dall'inverso del periodo di ritorno  $T_r$ . In un diagramma log-log, la relazione tra AFE e il parametro di scuotimento può essere

approssimata da una retta con pendenza  $-k$ , dove  $k$  è definito nella Parte 1 dell'Eurocodice 8 (CEN, 2004). Sfruttando l'ipotesi di curva con andamento lineare, per la definizione della curva di pericolosità è sufficiente conoscere un valore di accelerazione di picco  $a_g$  corrispondente ad un periodo di ritorno  $T_r$ , oltre al parametro  $k$  che indica la pendenza della retta che interpola gli altri punti e che passa per il punto preso come riferimento. Convenzionalmente si assume come punto di passaggio della curva quello in corrispondenza del periodo di ritorno  $T_r$  pari a 475 anni. La curva di pericolosità è quindi definita dalla relazione (1):

$$AFE = AFE_{475} \left( \frac{S \cdot a_{g475}}{a_g} \right)^k \quad (1)$$

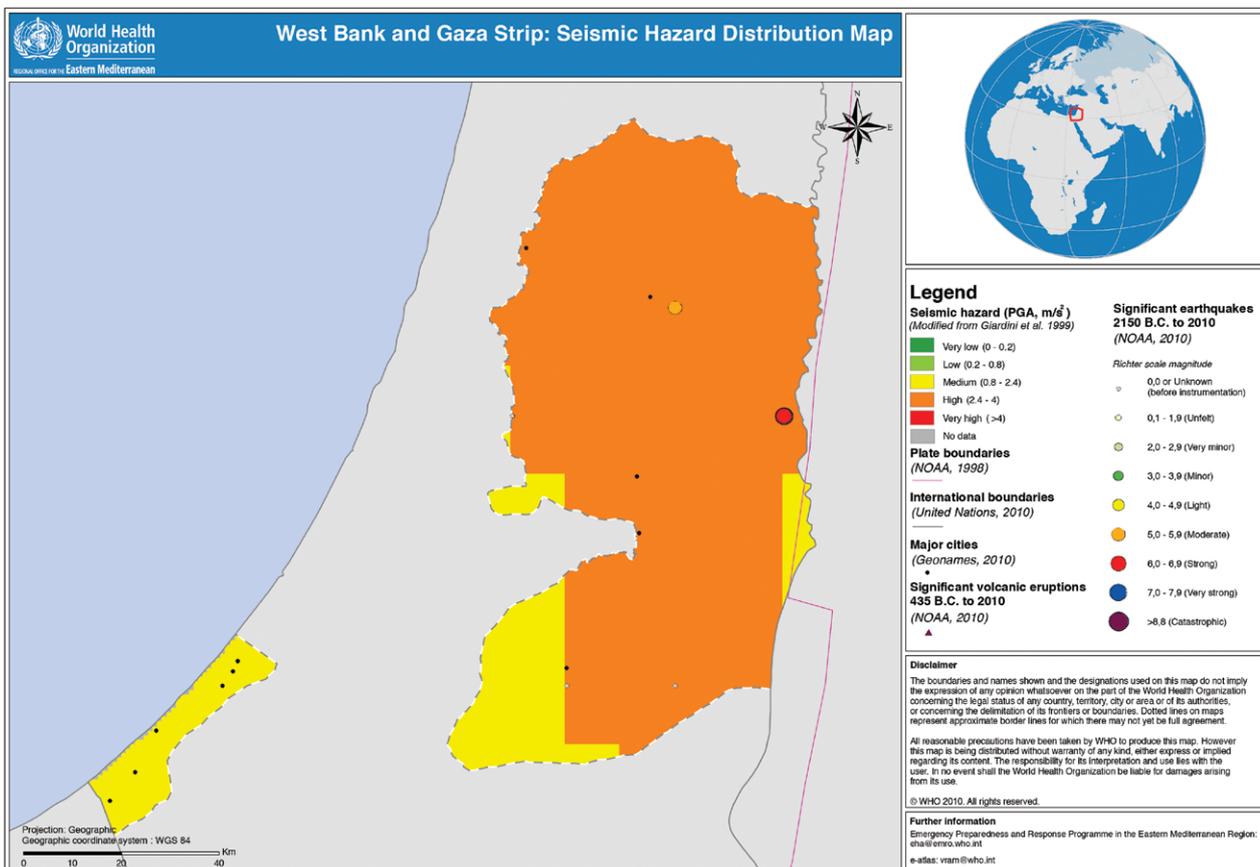
dove con  $AFE_{475}$  e  $a_{g475}$  si indicano, rispettivamente, la frequenza annuale di eccedenza e l'ordinata  $a_g$  corrispondenti al periodo di ritorno  $T_r$  di 475 anni e con  $S$  si indica il fattore di amplificazione dovuto al suolo. Nota la curva di pericolosità, è possibile calcolare la domanda in termini di accelerazione di picco  $a_g$  per qualsiasi periodo di ritorno  $T_r$ .

Per il caso della città di Nablus qui illustrato, si è fatto riferimento alla mappa "West Bank and Gaza Strip: Seismic Hazard Distribution Map" mostrata in Figura 15 che riporta l'accelerazione di picco  $a_g$  per un periodo di ritorno  $T_r$  di 475 anni. Non essendo nota la pendenza  $k$  della curva di hazard, si è assunto  $k=3$  che è il valore suggerito dall'Eurocodice 8 nel §2.1. I parametri che permettono quindi di definire la curva di hazard nell'equazione (1) sono:

- $AFE_{475}=1/475$
- $a_{g475}=0.24 \text{ g}$
- $k=3$
- $S=1$  (suolo A), 1.2 (suolo B o C), 1.4 (suolo D o E)

In Figura 16 si riporta la curva di pericolosità per un suolo di tipo "C" che compare nel tab *Hazard* una volta selezionato l'edificio di interesse. Si noti che la categoria di suolo è specificabile solo nella scheda di rilievo dei professionisti. Per tale motivo, la curva di pericolosità associata agli edifici rilevati dai cittadini viene determinata considerando un suolo con caratteristiche meccaniche medie corrispondente al suolo "B".

**Figura 15**  
Mappa di pericolosità  
(West Bank and Gaza Strip).



**Figura 16**  
Tab Hazard - Curva di pericolosità per un sottosuolo di tipo "C".



### 4.3 Curve di fragilità: Fragility

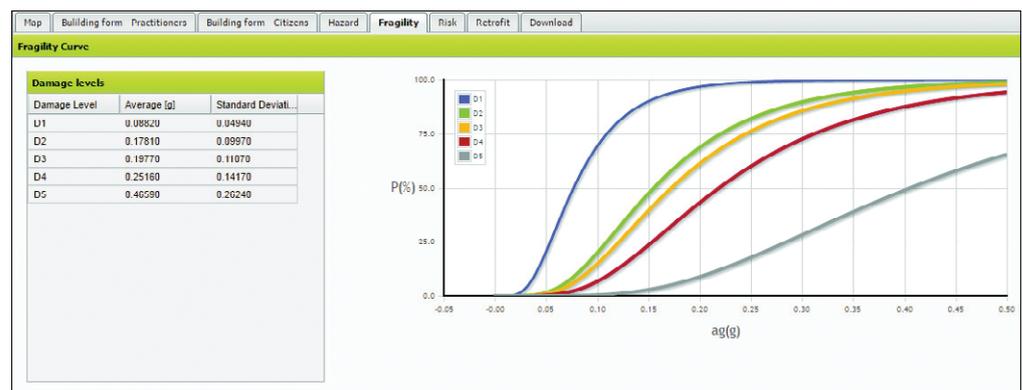
La vulnerabilità strutturale degli edifici viene valutata per mezzo di curve di fragilità ricavate con il metodo SP-BELA. Sulla base dei dati raccolti attraverso le schede di rilievo, si è in grado di determinare tutte quelle informazioni necessarie ad associare a ciascun edificio la corrispondente curva di fragilità. Tale associazione viene fatta in funzione della tipologia strutturale e del numero di piani. Le curve di fragilità sono ricavate per i cinque livelli di danno definiti dalla scala EMS98 (European Macroseismic Scale, Grünthal 1998): *DL1* (danno lieve), *DL2* (danno moderato), *DL3* (danno esteso), *DL4* (danno severo) e *DL5* (collasso). Poiché nella metodologia SP-BELA il danno viene quantificato numericamente attraverso gli stati limite, è necessario identificare una relazione tra livelli di danno e stati limite. Non avendo a disposizione un database di danno osservato sugli edifici in Palestina, tale relazione è stata definita sulla base dei danni osservati nei recenti terremoti italiani, da quello del Friuli del 1978 a quello dell'Emilia del 2012. Considerando un valore di accelerazione al suolo  $a_g$  pari a 0.24 g (assunto equivalente ad un periodo di ritorno  $T_r$  pari a 475 anni), la Tabella 1 mostra le probabilità di superamento calcolate per ciascun livello danno per un edificio di 7 piani a telaio in cemento armato e per un edificio di 3 piani in muratura, le cui curve di fragilità sono riportate rispettivamente in corrispondenza del tab *Fragility*, così come mostrato in Figura 17 e in Figura 18.

Dal momento che per gli edifici a setto non è possibile identificare un edificio prototipo che rappresenta in maniera univoca il comportamento dell'intera classe strutturale, per questa tipologia di edifici le curve di fragilità non sono state calcolate attra-

*Tabella 1* - Probabilità di superamento di ciascun livello di danno per un edificio di 7 piani a telaio in c.a. ed uno in muratura di 3 piani per un valore di accelerazione  $a_g$  di 0.24 g (assunto equivalente ad un periodo di ritorno  $T_r$  pari a 475 anni)

	DL1	DL2	DL3	DL4	DL5
Edificio a telaio in c.a. a 7 piani	98.30	77.61	71.12	55.36	14.85
Edificio in muratura a 3 piani	100	99.9	99.8	97.5	55.7

**Figura 17**  
Tab Fragility: Curve di fragilità di un edificio di 7 piani a telaio in cemento armato.





**Figura 18**  
Tab Fragility: Curve di fragilità di un edificio di 3 piani in muratura.

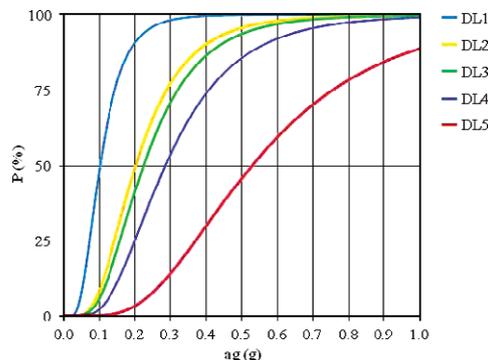
verso il metodo meccanico SP-BELA. Per questa tipologia strutturale si è assunto che, a parità di numero di piani (e quindi di altezza), la presenza delle pareti di taglio riduce il valore medio delle fragilità degli edifici a telaio in cemento armato. Da ciò ne consegue la possibilità di calcolare le curve di fragilità degli edifici a parete a partire da quelle degli edifici a telaio, moltiplicando per un fattore correttivo i valori di media mentre i coefficienti di variazione restano immutati. Il fattore correttivo utilizzato, risultato pari a 1.3, è stato calibrato sulla base del confronto fra le curve di fragilità delle diverse tipologie strutturali proposto da HAZUS (FEMA, 1999), metodologia scelta dopo un'attenta analisi dei diversi metodi per la valutazione della fragilità presenti in letteratura. La Figura 19 riporta a titolo di esempio le curve di fragilità definite per un edificio di 7 piani a setti in cemento armato.

#### 4.4 Rischio sismico: Risk

Nel tab Risk vengono mostrate, in forma tabellare, le probabilità di raggiungere i 5 livelli di danno da D1 a D5 della scala EMS98 (Grünthal 1998) nelle 3 finestre temporali di osservazione  $T_d$  (1, 10 e 50 anni) per l'edificio selezionato. La metodologia utilizzata per la definizione del rischio prevede il calcolo della probabilità di raggiungere o superare un prefissato livello di danno tramite la combinazione fra fragilità e pericolosità.

Figura 20 mostra i valori di rischio relativi ad un edificio selezionato a telaio in cemento armato di 8 piani, non regolare e di recente costruzione, così come visualizzati nel WebGIS.

Livelli di danno		
Danno	Valore medio (g)	Deviazione standard (g)
D1	0.11934	0.065191
D2	0.24089	0.13312
D3	0.26741	0.14768
D4	0.33345	0.1872
D5	0.6175	0.34658



**Figura 19**  
Curve di fragilità per un edificio di 7 piani a setti in cemento armato.

Disclaimer: The present study is performed at a city scale resolution. Any building specific results are only indicative hence they should be used very carefully, considering their limitations. The results in terms of seismic risk shown here are only indicative, based on parametric data gathered through the collection forms. For more information on the seismic response of your building, please liaise with an experienced						
Risk (%)						
Time Window (Years)	D1	D2	D3	D4	D5	
1	19.3	3.7	2.6	1.4	0.2	
10	60.9	21.9	17.8	10.6	2.2	
50	87.2	50.0	44.5	31.0	0.0	

**Figura 20**  
Tab Risk: valori del rischio per un edificio selezionato di 8 piani a telaio in cemento armato, non regolare e di recente costruzione.

#### 4.5. Retrofit

Tutti gli interventi strutturali attuabili allo scopo di ridurre la vulnerabilità di un edificio sono riportati nel WebGIS all'interno del tab *Retrofit*, una volta selezionata l'opera di interesse. Gli interventi proposti variano di caso in caso, in funzione della tipologia di edificio e delle caratteristiche geometriche e strutturali identificate mediante la compilazione della scheda di rilievo. Tali interventi permettono di correggere quei difetti strutturali legati ad una progettazione non sismica che inducono l'edificio ad avere un comportamento fragile e ad essere maggiormente predisposto al danno, anche in caso di terremoto di bassa o media intensità. Per la città di Nablus, tale comportamento si può verificare in edifici esistenti anche di recente costruzione: questo avviene poiché la nuova normativa edilizia, che prevede regole di progettazione sismica, è entrata in vigore solo recentemente.

#### 5. Conclusioni

Il WebGIS qui presentato rappresenta il principale prodotto atteso del progetto SASPARM2.0. È strutturato in maniera molto intuitiva e consente il libero accesso e l'acquisizione di informazioni sulla vulnerabilità e sul rischio sismico degli edifici. Il WebGIS, infatti, permette di raccogliere i dati geometrici e strutturali degli edifici rilevati per mezzo di schede predefinite sulla base delle principali tipologie strutturali presenti sul territorio palestinese. Da tali informazioni e attraverso il metodo SP-BELA, per tipologia strutturale e per numero di piani, si definiscono le curve di fragilità per cinque livelli di danno (da *DL1* a *DL5*). Combinando la vulnerabilità con la pericolosità sismica locale, si calcola il rischio sismico, il cui valore è visibile sul WebGIS una volta cliccato sull'edificio di interesse. Il WebGIS risulta, quindi, uno strumento di facile utilizzo sia per avere informazioni sulle caratteristiche degli edifici residenziali della città di Nablus sia per avere indicazioni riguardo al rischio sismico calcolato per le finestre temporali selezionate e le possibili misure di retrofit suggerite. Uno strumento di questo tipo potrebbe essere di notevole interesse anche per altri territori, incluso quello italiano, ove dati puntuali sulla vulnerabilità degli edifici residenziali non sono disponibili a scala nazionale.

#### Ringraziamenti

Questa ricerca è stata condotta nell'ambito del progetto "ECHO/SUB/2014/694399 SASPARM 2.0 Support Action for Strengthening Palestine capabilities for seismic Risk Mitigation", progetto cofinanziato da DG-ECHO - Humanitarian Aid and Civil Protection. Si ringraziano R. Monteiro, P. Ceresa, V. Cerchiello e I. Grigoratos (IUSS, Pavia) per la sezione del WebGIS relativa al retrofit e il Prof. J. Dabbeek e il suo staff (An-Najah National University, Nablus) per le informazioni sulle caratteristiche costruttive degli edifici palestinesi.

#### Bibliografia

- Bolognini D., Borzi B., Pinho R. (2008) - Simplified Pushover-Based Vulnerability Analysis of Traditional Italian RC Precast Structures. 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering 2008; Beijing, China.
- Borzi B., Pinho R., Crowley H. (2008) - Simplified Pushover-Based Vulnerability Analysis for Large Scale Assessment of RC Buildings. *Engineering Structures*, 2008a, 30(3): 804-820.
- Borzi B., Crowley H., Pinho R. (2008) - Simplified Pushover-Based Earthquake Loss Assessment (SP-BELA) Method for Masonry Buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 2008b, 2(4): 353-376.
- Eurocode 8, prEN 1998-1. Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization (CEN) 2004; Brussels, Belgium.
- Grigoratos I., Borzi B., Di Meo A., Monteiro R., Ceresa P. (2016) - Extending simplified pushover-based methods for vulnerability assessment of irregular RC buildings in Palestine. 1st International Conference on Natural Hazards and Infrastructure 2016, Chania, Greece.
- Grünthal G. (editor)(1998) - Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie: Volume 15 – European Macroseismic Scale 1998. European Center for Geodynamics and Seismology 1998; Luxembourg.
- SASPARM project. Support Action for Strengthening Palestinian-administrated Areas capabilities for Seismic Risk Mitigation, FP7-INCO, ID. 295122; HYPERLINK "<http://www.sasparm.ps/en/>"[www.sasparm.ps/en/](http://www.sasparm.ps/en/).
- SASPARM 2.0 project. Support Action for Strengthening Palestine's capabilities for seismic Risk Mitigation, DG-ECHO 2014, ECHO/SUB/2014/694399; HYPERLINK "<http://www.sasparm2.com/>"[www.sasparm2.com](http://www.sasparm2.com/).

#### Gli Autori

##### Antonella Di Meo

Antonella Di Meo si laurea nel 2009 in Ingegneria Civile presso l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale. Da Gennaio 2010 inizia a lavorare in Eucentre presso la sezione "Vulnerabilità e gestione territoriale" dove si occupa principalmente di vulnerabilità strutturale e rischio sismico.

**Marta Faravelli**

Marta Faravelli lavora in Eucentre dal 2007 come tecnologo nella sezione “Vulnerabilità e gestione territoriale”. Si occupa della valutazione della vulnerabilità sismica delle strutture a diversa scala e della produzione di scenari di danno.

**Barbara Borzi**

Barbara Borzi è primo ricercatore presso Eucentre dove coordina la sezione “Vulnerabilità e gestione territoriale”. Le principali attività di ricerca riguardano: (i) la valutazione del rischio sismico a scala urbana o territoriale di strutture ed infrastrutture, (ii) l’implementazione di metodi analitici per la valutazione della vulnerabilità a scala urbana, (iii) la modellazione del comportamento non lineare di strutture soggette ad azione sismica, e (iv) l’implementazione di metodologie semplificate per l’analisi da adottarsi quando sono noti pochi dati oppure quando l’onere computazionale dell’analisi di dettaglio non può essere gestito.

**Marco C. Pagano**

Marco Pagano lavora in Eucentre dal 2009 come tecnico informatico nella sezione “Vulnerabilità e gestione territoriale”. Si occupa dello sviluppo di applicazioni WebGIS e di sistemi per la gestione delle pratiche edilizie.

**Diego Polli**

Diego Polli consegue il Dottorato di Ricerca (PhD) in Ingegneria Elettronica Elettrica ed Informatica nel 2012 presso l’Università degli Studi di Pavia. Dall’aprile dello stesso anno si trova in Eucentre dove si occupa di Sistemi Informativi in supporto alle attività degli enti operanti nel settore edilizio e di gestione del territorio. Partecipa, inoltre, a diversi progetti sponsorizzati dal Dipartimento della Protezione Civile, come sviluppatore di piattaforme WebGIS, che hanno lo scopo di memorizzare e visualizzare dati di rischio sismico del territorio nazionale.



## THE THIRD INTERNATIONAL NIGEL PRIESTLEY SEMINAR

### Collegio Cardinale Riboldi, Pavia, Italy – 25-26 May 2017

Presso l'Auditorium del Collegio Cardinale Riboldi, il 25 e il 26 Maggio 2017 si terrà il terzo seminario internazionale dedicato al Professor Nigel Priestley, durante il quale durante gli studenti di Master e Dottorato del Centro UME avranno la possibilità di presentare e discutere i loro lavori di ricerca, alla presenza di un pubblico di esperti internazionali.

Come da tradizione il seminario ospiterà una lectio magistralis su un argomento di grande rilevanza nel campo dell'ingegneria sismica e della sismologia. Quest'anno la lectio magistralis sarà tenuta dalla Professoressa Ellen Rathje, Professoressa presso l'Università degli Studi del Texas di Austin, USA sul tema dell'identificazione di fenomeni di liquefazione e rottura del terreno dallo spazio.